

基于光质配比的智能植物补光试验研究

李鑫, 刘健, 张博, 蔡喜平* (黑龙江大学物理科学与技术学院, 黑龙江哈尔滨 100080)

摘要 基于不同光质对比植物生长有不同的生理意义, 对 LED 智能植物补光灯进行研究, 提出了可以“一灯多用”的光质配比补光方法。补光灯以 FPGA 为控制器, 选用 RGB-LED 灯珠为补光灯源, 通过光强传感器采集光强值, 当与预设值不符时, 调用补光配比方案库内与植物种类对应的补光信号, 通过三路恒流驱动电路分别控制 R、G、B 3 个发光芯片的 PWM 占空比, 以实现光谱可调、光质配比可调的智能补光。通过红蓝光 2:1 配比光照为生菜种子补光的萌发试验, 发现种子萌发数显著高于对照组 ($P < 0.05$)。此智能补光灯成本低, 设计简单, 调光比例精确, 基本可满足植物对光的需求, 极具实用价值。

关键词 LED 智能补光; PWM; 种子萌发; 光质配比方案库

中图分类号 S123 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)20-0220-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.059

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Intelligent Plant Light Supplement Experiment Based on Light Quality Ratio

LI Xin, LIU Jian, ZHANG Bo et al (School of Physics Science and Technology, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 100080)

Abstract Due to different physiological significance of different ratio of light quality on plant growth, LED intelligent light supplement lamp was studied. A light quality ratio light supplement method of “one lamp with multiple functions” was proposed. FPGA was used as the controller of light supplement lamp, RGB-LED lamp bead was used as the supplementary light source to collect the light intensity value through the light intensity sensor. If the light intensity did not match the preset value, we allocated the supplementary light signal corresponding to the plant species in the supplementary light ratio scheme library, and controlled the PWM duty ratios of the three light-emitting chips R, G, and B through the three constant current drive circuits, so as to realize the intelligent fill light with adjustable spectrum and adjustable light quality ratio. Through the germination experiment on lettuce seeds exposed at the light with the intensity ratio of 2:1 for red to blue, it was found that the germinated number of seed was significantly higher than that of control group ($P < 0.05$). This intelligent light lamp had the advantages of low cost, simple design and accurate dimming ratio. The light lamp could basically meet the needs of plants for light, and it is extremely useful.

Key words Intelligent LED lighting; PWM; Seed germination; Light quality ratio scheme library

室内花草不仅可以美化环境, 而且可以净化空气。但是, 如果养护不当, 花草就可能发黄、枯萎甚至死亡。部分原因在于人们工作繁忙, 无暇顾及对花草的养护, 但更重要的原因是人们对花草的生活习性缺乏了解, 不能提供合适的养护手段。适合在室内种植的花草种类繁多, 每一种植物都有自己独特的基因库, 它们的生长对土质、酸碱度、营养成分、光照等要求各不相同。即使人们对某种植物的生活习性有足够的了解, 但也可能因为没有足够的手段, 无法实现按需养护。基于人工智能的智能植物养护技术是解决上述问题的有效途径, 这些技术可以实现对植物的智能养护, 如自动补水、智能补光等^[1-2]。针对不同植物对光照的需求, 设计了一种智能植物养护系统, 用于自动调控光谱成分和光照强度, 实现任意光质配比的补光, 以促进植物的健康成长。

光对植物的生长有着不可替代的作用。太阳光光谱范围为 300~2 600 nm, 其中对植物的光合作用有效的光谱范围为 400~700 nm。根据光谱成分的不同可将光分为不同光质。红光是植物光合作用的主要成分, 红光照射下可以促进植物叶绿素、花色苷素的生成^[3]。蓝光有利于植物叶的生长和茎的加粗, 提高生长速率^[4-5]。绿光可以深入植物的下冠层, 降低叶片枯萎速度, 保持植物鲜活^[6]。大量研究表明, 不仅单光质对植物生长有积极作用, 将光质按一定比例混合也对植物生长有着重要意义。适当比例的红绿蓝光混合可以

促进植物生长并且效果较好^[7-14]。比如: 光质 R:B:G=8:1:1 对黄瓜幼苗的茎粗, 叶面积都有积极影响; R:B=7:1 的混合光照对芦荟的各项生长指标增长量的影响最大; R:B=1:9 的复合光对油麦菜的生长最为有利; R:B:G=7:2:1 可以显著提高番茄的叶绿素含量和净光合速率; R:B=3:1 对铁皮石斛组培苗各有效成分的影响最为显著。然而, 并不是所有混合光质都会对植物生长有积极作用, 比如对红橘幼苗的研究中发现光质比例为 R:B=4:1 时, 红橘幼苗各部分的物质含量都明显降低, 其生长被抑制^[15]。由此可见, 不同植物的生长所需最优光质是不同的, 为植物补充适宜的光质可以促进植物生长发育, 相反则会抑制植物生长, 因此为植物提供最优光质配比显得尤为重要。

现有的控制补光灯的光质配比的方法是控制点亮的灯珠配比数量^[16]。此种方法具有较大的局限性, 只能针对某一植物应用, 不具有普遍意义。智能植物补光灯是解决上述问题的有效途径, 它们大多采用红色和蓝色的发光二极管 (light-emitting diode, LED) 组合搭配, 通过 PWM-脉冲宽度调制调光、可控硅调光、模拟调光等调光技术, 控制光质比例^[17]。但是, 此种方法需要经过合理布局, 铺设不同颜色的灯珠, 并且当植物所需光质为单光质时, 其他光质的灯珠就会被闲置。针对上述问题, 笔者选用 RGB-LED 灯珠, 可同时调控三路红、绿、蓝芯片的发光强度, 实现任意比例的光配比方案, 不用改变灯珠布局。此设计既解决了传统单光质光源的补光的局限性, 又可精确调控光质配比。

1 智能补光灯设计

1.1 系统设计 图 1 为智能补光控制器的系统框图, 智能补

作者简介 李鑫(1995—), 女, 黑龙江双鸭山人, 硕士研究生, 研究方向: 家居智能相关方面的技术研发。* 通信作者, 教授, 博士, 从事光电信息技术研究。

收稿日期 2021-01-14

光控制器利用光强传感器对植物接收到的光强进行采集。将采集到的光强值与预设的阈值进行比较,当与预设阈值不相符合时,发送需要补光的信号至信息采集控制板。该控制板以现场可编程门阵列(field-programmable gate array, FPGA)为核心,根据植物的补光要求,调用光配比方案库,输出三路脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)信号,后接三路恒流驱动电路,调节加载在 R、G、B 3 个引脚上电流的大小,以调节光强,使 RGB_LED 发出植物需要光质及其合适比例。

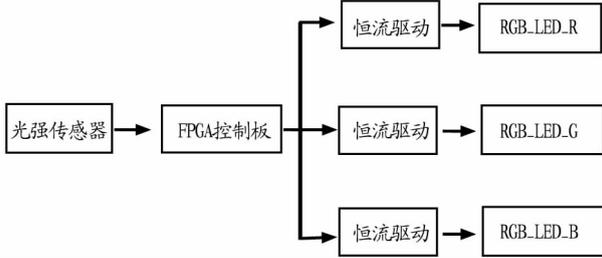


图1 智能补光控制器框图

Fig.1 Block diagram of intelligent light filling controller

1.2 调光程序设计 调光程序的设计目的是根据不同的补光信号,使 R、G、B 三路信号输出对应的 PWM。图2为调光程序的流程图,设计中包括主控程序设计、存储器设计、选择程序设计、PWM 程序设计。主控程序的设计目的根据植物对光的需要调用存储器内相应信息。只读存储器内存储光质配比方案,对植物所需的光质配比信息进行编码,可根据主控信号的不同,选择对应的光质配比信息信号。选择程序

的设计目的是为 PWM 占空比提供控制信号。PWM 程序设计的目的是根据选择程序的信号输出 PWM1、PWM2、PWM3 信号。

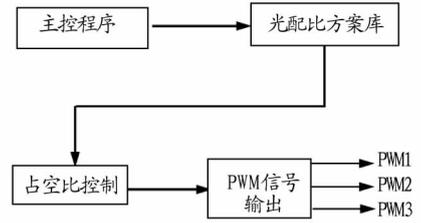


图2 调光程序流程

Fig.2 Flow of dimming program

1.3 驱动电路设计 LED 驱动电路分为恒压驱动电路和恒流驱动电路。因为 LED 伏安特性具有负温度系数的特点,当电压一定时,电流会随温度变化。选用 3 W 大功率 RGB-LED 对温度的影响非常严重,温度过高会造成辐射光强大幅度减弱,因此选择恒流驱动电路。恒流驱动电路根据组成器件不同,可以分为晶体管恒流源、场效应管恒流源、集成运放恒流源 3 类。其中,集成运放恒流源的主要器件为运算放大器和场效应管,采用运放作为反馈,因为温度对运放参数的影响较小,因此集成运放恒流源更稳定,精度更高。经过综合分析,选用恒流源驱动方式设计了恒流驱动电路,原理图如图3所示。调光程序输出的 PWM1、PWM2、PWM3 信号分别与运算放大器的同相输入端连接,改变脉冲信号的占空比从而改变了电流大小,进而调节光强度。

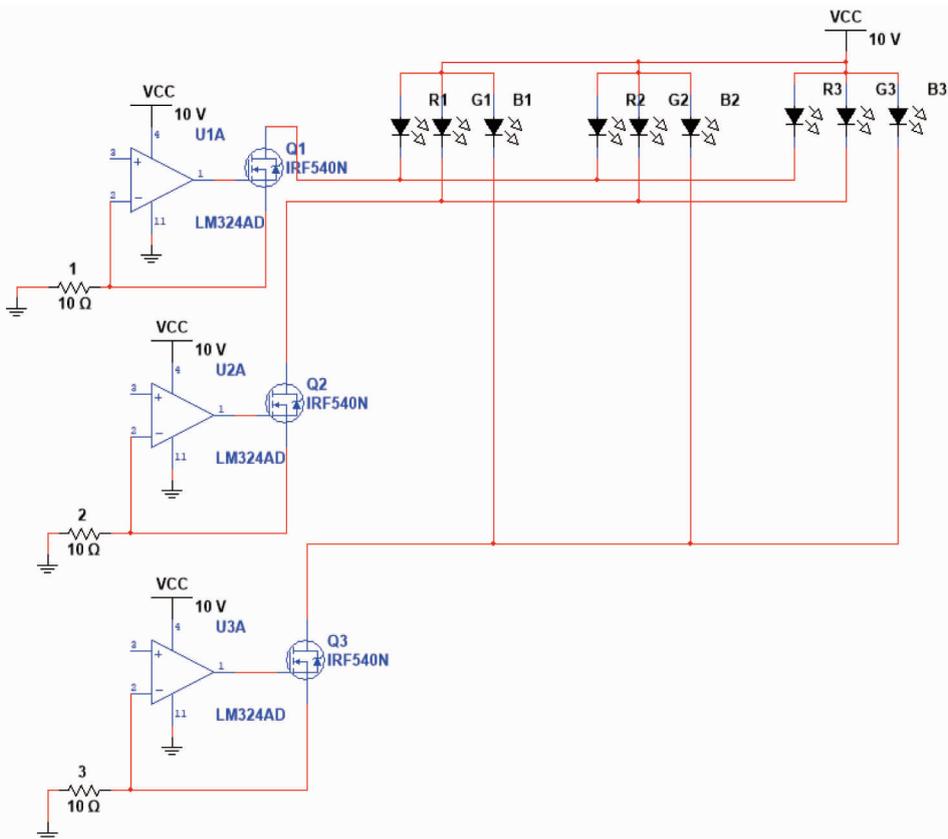


图3 恒流源驱动电路图

Fig.3 The constant-current drive circuit diagram

2 智能调光方案设计

2.1 LED 灯的选择 选择合适的 LED 是植物补光试验中的一重要部分。LED 灯有节能环保、能耗低的优点,可满足日常家居长时间为植物补光的需要^[18]。LED 发出的光是冷光源,发热少,即使近距离为植物补光照射,也不会对植物造成伤害。RGB-LED 不仅有普通 LED 的优点,而且因其内部

封装了 3 个发光芯片,可以同时发出 3 个波段的光。通过 PWM 信号改变其占空比,从而调节发光光强和合成光谱,即对光质的调节。图 4 为 RGB-LED 灯珠的 3 个 LED 光源的光谱图,波长范围分别为 440~480、490~580、600~680 nm,峰值分别为 460、530 和 630 nm,可满足植物对光的需要。

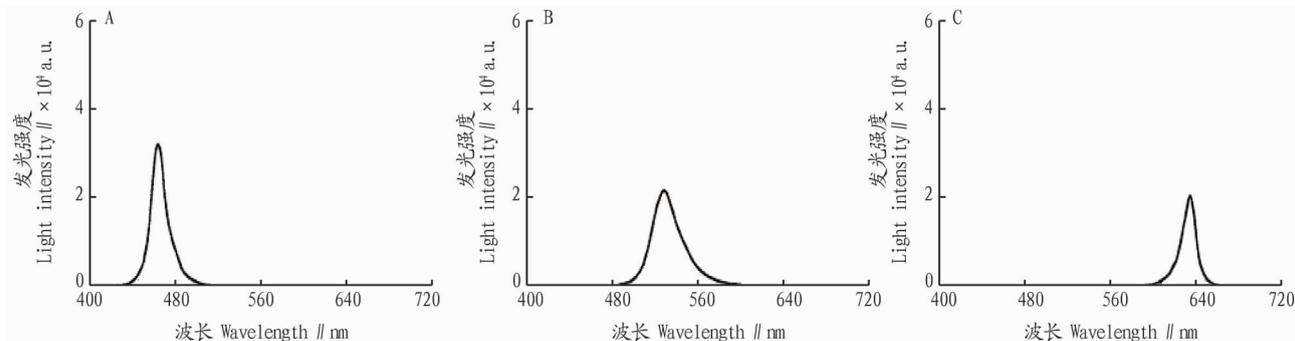


图 4 RGB-LED 3 个芯片的发光光谱

Fig.4 RGB-LED luminescence spectra with three chips

2.2 补光灯性能测试 为了测试调光效果,分别测试红、绿、蓝 3 个芯片发光强度与 PWM 占空比的关系,如图 5 所示。

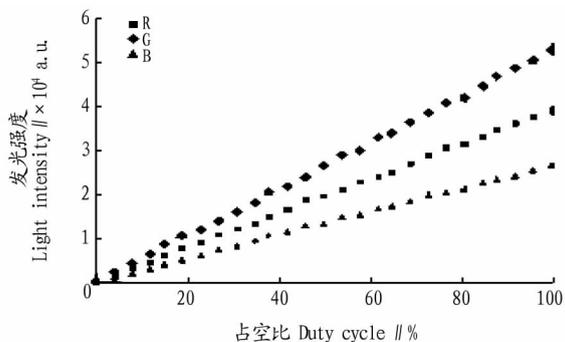


图 5 红、绿、蓝芯片发光强度与 PWM 占空比的关系

Fig.5 Relationship between light intensity and PWM duty cycle of red, green and blue chips

对占空比和相对光强度的关系进行线性拟合,得到关系式:

$$Y_R = 39\ 296x + 24.22 (R^2_R = 0.999\ 5)$$

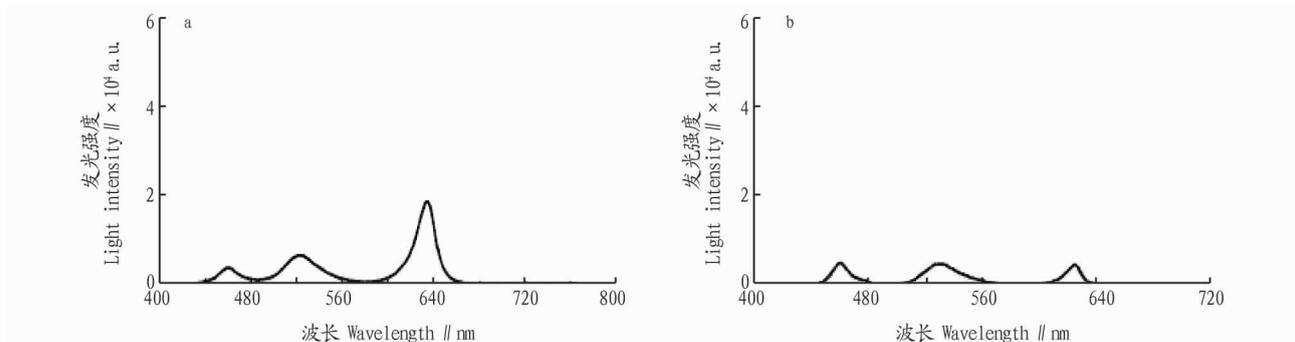
$$Y_G = 26\ 686x + 28.86 (R^2_G = 0.999\ 1)$$

$$Y_B = 52\ 826x + 18.18 (R^2_B = 0.999\ 4)$$

试验表明,拟合优度值接近 1,回归直线对观测值的拟合程度较好。当改变 PWM 信号占空比时,可以线性改变光强度,满足调光要求。

2.3 补灯光配比方案设计 调节光质配比的方法是通过 PWM 调节各路信号占空比,从而控制 R、G、B 发光强度的相对比例。如图 6a 所示,当电流为 1:1:1 时,红、绿、蓝三基色的相对光强度比并不是 1:1:1,并且相距较大,如果按照传统方式调节 PWM 信号的占空比会造成较大误差。针对此问题,解决思路是调节各路信号占空比,使其相对光强度为 1:1:1,然后以此为基数,改变对应份数占空比,以此得到不同的光配比方案。

根据占空比与相对光强度比例关系和试验测量可得,当调节占空比为 2%、6%、9% 及其相同倍数时,相对光强度比为 1:1:1,如图 6b 所示。将占空比为 2%、6%、9% 确定为补光灯的初始值,当改变单路倍数便可得到更多的相对比例。将各配比方案储存在存储器中,当不同信号到来时调用光配方库内对应信号,即可根据植物对光的需要,精确调控光质配比。



注:a.比例为 1:1:1;b.比例为 2:6:9

Note:a.Ratio of 1:1:1;b.Ratio of 2:6:9

图 6 不同比例 RGB-LED 驱动电流的发光光谱曲线

Fig.6 The emission spectrum curves of RGB-LED driving current with different ratios

3 试验测试与结果分析

3.1 试验材料

3.1.1 植物的选择。选择购自梅州市吉丰种业发展有限公司的品种为“298”的意大利全年生菜王 (Italy's king of lettuce) 种子,该品种生长周期短,10 d 左右便可发芽,便于观察试验现象;在 15~33 ℃ 下都可存活,实验室条件下可满足生长所需温度。

3.1.2 光质配比的选择。大量研究表明,红蓝混合光质下更

适合生菜的生长。当红蓝复合光中红光为蓝光的 1~4 倍时,对生菜生长具有积极意义^[19-23]。根据前人的研究结果,试验利用 R:B=2:1 的试验材料,检验智能补光灯是否对生菜种子的萌发有作用。根据光质比例要求,PWM 信号占空比分别为 40%、0 和 90%。图 7 为红绿蓝三路信号的 PWM 信号占空比仿真图,图 8 为光谱仪测量得到红光与蓝光相对光强度比例。

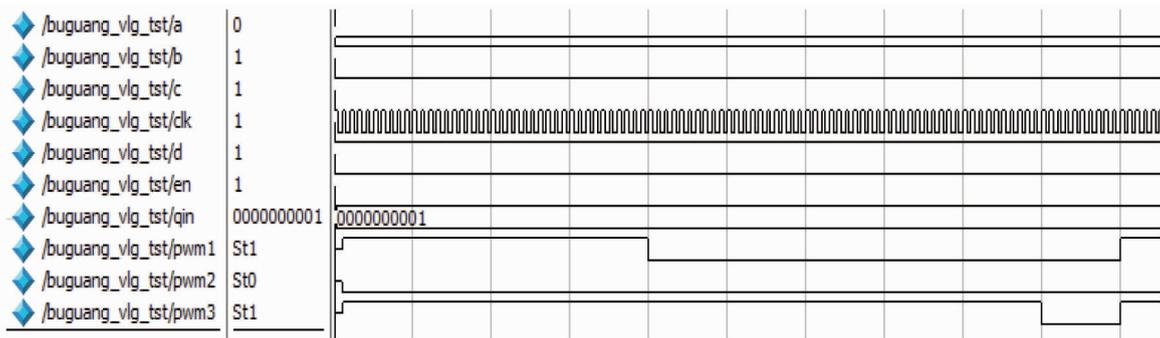


图 7 调光程序仿真图

Fig.7 Simulation diagram of dimming program

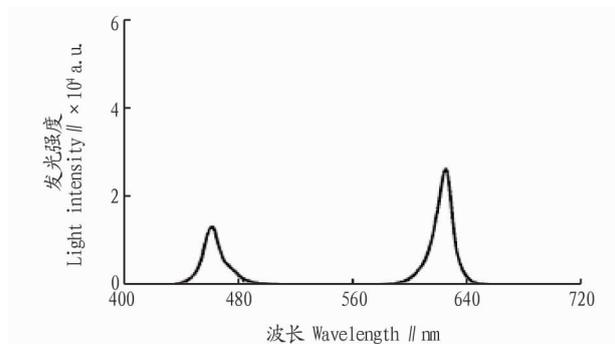


图 8 红蓝光质配比 2:1 光谱图

Fig.8 Spectrogram of red and blue light with the ratio of 2:1

3.2 试验设计 试验于 2020 年 10 月 5 日在黑龙江大学物理科学与技术学院光电信息技术实验室内进行。整平土壤后,选取健康的生菜种子 200 粒,随机平均分为 2 组,将种子均匀地撒在 2 个花盆内,然后表面覆盖一层 3~5 mm 厚度的细土,每天喷洒适量清水,保持种子成长环境湿润。A 组采用自然光照射为自然光照组,B 组采用红光与蓝光混合光照射为补光组,每组试验重复 3 次(共 6 盆种子),每隔 24 h 观察并记录种子萌发情况,当 A 组种子不再萌发时停止试验。

3.3 数据处理与分析 试验期共 12 d,10 月 5 日开始,10 月 16 日 A 组的 3 盆生菜种子都不再有新增发芽数时结束试验。自然光与补光处理对种子萌发数量的影响见表 1。

表 1 自然光与补光处理对种子萌发数量的影响

Table 1 Effects of natural light and supplementary light on the seed germination quantity

组别 Group	编号 No.	日期 Date											
		10-05	10-06	10-07	10-08	10-09	10-10	10-11	10-12	10-13	10-14	10-15	10-16
A	1 号	0	0	0	16	27	43	61	72	79	79	79	79
	2 号	0	0	0	59	71	75	75	75	76	76	76	76
	3 号	0	0	0	42	48	53	60	68	75	79	83	83
B	4 号	0	0	0	11	12	16	70	91	96	96	96	96
	5 号	0	0	0	57	72	78	86	86	87	87	87	87
	6 号	0	0	0	77	85	89	89	89	89	90	90	90

数据处理运用方差分析的基本思想如下:通过分析补光组对自然光组的贡献大小,确定补光组对种子萌发数量的影响力大小。通过方差分析发现补光组是否对种子萌发数量产生了显著影响。如果补光对种子萌发数量产生了显著影响,那么它与自然光照组共同作用,其结果也必然有显著变化。如果补光组对种子萌发数量没有显著影响,那么结果主要由自然光照组决定,与补光组的关系不大。在统计学中,用显著性差异 (significant difference) 评价数据的差异性, $P < 0.05$ 表示试验结果存在显著差异。利用 SPSS 23 统计软件对试验数据进行差异显著性分析。试验采用单因素方差分

析 (ANOVA) 检验方法分析数据差异显著性。试验表明,补光组的种子萌发数量与自然光照组的种子萌发数量有显著差异 ($P < 0.05$)。因此,补光灯的红蓝光质比例为 2:1 时可以促进生菜种子的萌发。

4 结论

根据不同光质配比对植物有不同的影响,设计了可智能调控光照强度和光谱成分的补光灯。该补光灯采用 RGB-LED 为补光灯源,可实现“一灯多用”智能调节光谱,避免了单色光源的闲置而造成浪费。同时,针对三基色初始光强不

(下转第 242 页)

识别准确率以及模型稳定性,结果表明 Xception 模型在这 2 个方面的表现均最优。

表 2 各模型迁移学习的最高准确率

序号 Code	模型 Model	准确率 Precision rate//%
1	VGG-16	93.49
2	VGG-19	90.18
3	ResNet50	96.09
4	ResNet101	77.05
5	DenseNet121	98.44
6	InceptionNetV2	97.69
7	Xception	98.50

参考文献

- [1] 周立阳,高增祥,李典谟.害虫预测预报的生态学基础和应用技术研究进展[J].生态学报,2001,21(6):1013-1019.
- [2] 刘杰,姜玉英,黄冲,等.2021年全国粮食作物重大病虫害发生趋势预报[J].中国植保导刊,2021,41(1):37-39,42.
- [3] SASAKI Y, OKAMOTO T, IMO U K, et al. Automatic diagnosis of plant disease-Spectral reflectance of healthy and diseased leaves[J]. IFAC Proceedings Volumes, 1998, 31(5): 145-150.
- [4] RUMPF T, MAHLEIN A K, STEINER U, et al. Early detection and classification of plant diseases with Support Vector Machines based on hyperspectral reflectance[J]. Computers and electronics in agriculture, 2010, 74(1): 91-99.
- [5] ZHANG S W, WANG H X, HUANG W Z, et al. Plant diseased leaf segmentation and recognition by fusion of superpixel, K-means and PHOG[J]. Optik, 2018, 157: 866-872.
- [6] HINTON G E, OSINDERO S, TEH Y W. A fast learning algorithm for deep belief nets[J]. Neural computation, 2006, 18(7): 1527-1554.

(上接第 223 页)

同的问题,设计了光配比方案库,可以通过改变 PWM 信号的占空比调控 3 个发光芯片的电流,实现补光灯的任意光质配比。选用生菜种子为试验对象,采用红蓝光 2:1 配比比例,设计了光对种子萌发的影响对比试验,利用 SPSS 23 统计软件对试验数据进行分析,结果表明用该智能植物补光灯补光的生菜种子的发芽率较自然光照射的生菜种子的发芽率有显著差异($P < 0.05$)。此结果与生物学研究结果相符合,证明该智能补光灯对植物生长有积极作用。

参考文献

- [1] 李阳.基于物联网的智能花卉养护系统的研究[D].哈尔滨:黑龙江大学,2017:7-13.
- [2] 王克鑫.基于机器视觉的智能植物养护系统[D].哈尔滨:黑龙江大学,2018:43-49.
- [3] 邓礼松.基于智能控制系统植物补光源研究[D].重庆:重庆师范大学,2019:3-5.
- [4] 赵启蒙.用于植物生长补光的 LED 照明系统研究[D].上海:复旦大学,2012:5-6.
- [5] 许大全,高伟,阮军.光质对植物生长发育的影响[J].植物生理学报,2015,51(8):1217-1234.
- [6] MATEROVÁ Z, SOBOTKA R, ZDVIHALOVÁ B, et al. Monochromatic green light induces an aberrant accumulation of geranylgeranyled chlorophylls in plants[J]. Plant physiology and biochemistry, 2017, 116: 48-56.
- [7] 朱鹿坤,陈俊琴,赵雪雅,等.红蓝绿 LED 延时补光对日光温室黄瓜育苗的影响[J].沈阳农业大学学报,2020,51(4):402-409.
- [8] 朱鹿坤,陈俊琴,赵雪雅,等.红蓝绿 LED 延时补光对日光温室番茄育

- [7] MOHANTY S P, HUGHES D P, SALATHÉ M. Using deep learning for image-based plant disease detection[J]. Frontiers in plant science, 2016, 7: 1-10.
- [8] 徐贵力,毛罕平,李萍萍.缺素叶片彩色图像颜色特征提取的研究[J].农业工程学报,2002,18(4):150-154.
- [9] 赵玉霞,王克如,白中英,等.贝叶斯方法在玉米叶部病害图像识别中的应用[J].计算机工程与应用,2007,43(5):193-195.
- [10] 李敬.基于卷积神经网络的烟草病害自动识别研究[D].泰安:山东农业大学,2016.
- [11] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[J]. Advances in neural information processing systems, 2012, 25(2): 1106-1114.
- [12] SIMONYAN K, ZISSERMAN A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition[R]. 2015.
- [13] HE K M, ZHANG X Y, REN S Q, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NY, USA: IEEE, 2016: 770-778.
- [14] HUANG G, LIU Z, VAN DER MAATEN L, et al. Densely Connected Convolutional Networks[C]//2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Honolulu, HI, USA: IEEE, 2017.
- [15] SZEGEDY C, LIU W, JIA Y Q, et al. Going Deeper with Convolutions[C]//2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Boston MA, USA: IEEE, 2015.
- [16] IOFFE S, SZEGEDY C. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift[J]. The 32nd international conference on machine learning, 2015, 37: 448-456.
- [17] SZEGEDY C, VANHOUCHE V, IOFFE S, et al. Rethinking the inception architecture for computer vision[C]//2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NY, USA: IEEE, 2016: 2818-2826.
- [18] SZEGEDY C, IOFFE S, VANHOUCHE V, et al. Inception-v4, inception-ResNet and the impact of residual connections on learning[R]. 2016.
- [19] Chollet François. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions[C]//2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Honolulu, HI, USA: IEEE, 2017: 1800-1807.

- 苗的影响[J].中国蔬菜,2019(10):51-57.
- [9] 符民.LED 植物光源阵列设计与光环境研究[D].广州:华南理工大学,2018:18-26.
- [10] 龚洪恩.LED 光源对油茶苗生长及其光合相关基因表达的影响[D].北京:中国林业科学研究院,2018:40-65.
- [11] 王丽伟.红蓝光质对番茄碳氮代谢和果实品质的影响机制研究与应用[D].北京:中国农业科学院,2017:11-19.
- [12] 刘慧雯.LED 光质对铁皮石斛组培拟原球茎和幼苗生长及主要有效成分的影响[D].泰安:山东农业大学,2017:16-21.
- [13] 闫晓花.补光时间及光质对温室黄瓜幼苗生长及光合特性的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2016:23-29.
- [14] 马宁,田婧,鲁少尉,等.弱光条件下 LED 补光灯对苗期蔬菜生长的影响研究进展[J].安徽农业科学,2018,46(32):1-3,6.
- [15] 李思静.不同 LED 光对先锋橙和红桔幼苗生长发育及生理特性的影响[D].重庆:西南大学,2018:11-34.
- [16] 刘卫国,宋颖,邹俊林,等.LED 灯模拟作物间作套种群体内光环境的设计与应用[J].农业工程学报,2011,27(8):288-292.
- [17] 徐秀知,王淑凡,王巍,等.全数字智能 LED 植物补光灯控制系统[J].天津工业大学学报,2012,31(4):57-60.
- [18] 赵杰荣.基于无线传感器网络的植物补光系统研究[D].大连:大连工业大学,2017:2-3.
- [19] 孙洪助,王虹,沈建华,等.不同比例红蓝光对生菜种子萌发及幼苗生长的影响[J].浙江农业学报,2014,26(3):603-608.
- [20] 周华,刘淑娟,王碧琴,等.不同波长 LED 光源对生菜生长和品质的影响[J].江苏农业学报,2015,31(2):429-433.
- [21] 王涛,兰婕,陈永快,等.LED 红蓝光配比对生菜生长及生理特性的影响[J].江苏农业科学,2019,47(22):199-203.
- [22] 陈文昊,徐志刚,刘晓英,等.LED 光源对同品种生菜生长和品质的影响[J].西北植物学报,2011,31(7):1434-1440.
- [23] 刘晓英,焦学磊,徐志刚,等.红蓝 LED 光对叶用莴苣生长、营养品质和硝态氮含量的影响[J].南京农业大学学报,2013,36(5):139-143.